Metabolismo en Microorganismos

- Generalidades del Metabolismo: Los procesos químicos realizados por los seres vivos.
- Incluye las reacciones de anabolismo (síntesis molecular – consumo de energía) y de catabolismo (ruptura molecular – generación de energía).

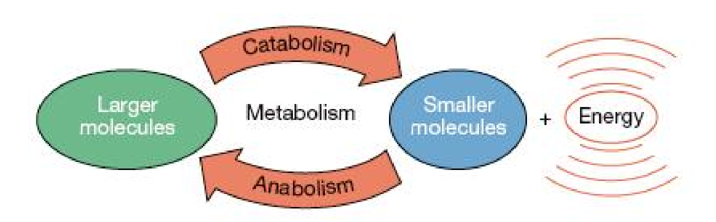
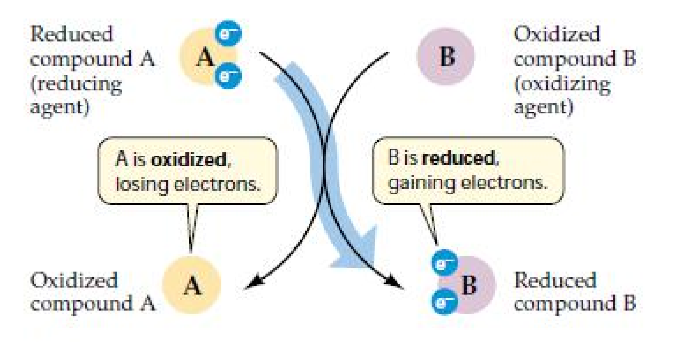


Figura 1:

Anabolismo es necesario para el crecimiento, reproducción y reparación de estructuras celulares.

Catabolismo provee al organismo de energía para sus procesos vitales: movimiento, transporte y síntesis molecular (anabolismo)

- Todas las reacciones catabólicas involucran transferencia de electrones (e-).
- Permite capturar energía – enlaces en ATP y moléculas similares.
- Los mecanismos de transferencia de e- se basan en reacciones de oxidación y reducción pérdida y ganancia de e- (REACCIONES REDOX).



7.2 Oxidation and Reduction Are Coupled In a redox reaction, reactant A is oxidized and reactant B is reduced. In the process, A loses electrons and B gains electrons. A proton may be transferred along with an electron, so that what is actually transferred is a hydrogen atom.

Figura 2:

- Obtención de energía en microorganismos
  - Altamente versátiles – autótrofos y heterótrofos.
  - CO_2 es un compuesto inorgánico que permite la síntesis de moléculas orgánicas (Autótrofos).
  - Fotoautótrofos – luz.
  - Quimioautótrofos - oxidación de sustancias inorgánicas simples.
- Los heterótrofos obtienen el C de compuestos orgánicos, específicamente otros organismos vivos o muertos.
  - Fotoheterótrofos – energía química de la luz.
  - Quimioheterótrofos – energía química de la ruptura de compuestos orgánicos.#

Metabolismo

- Todos los mecanismos de metabolismo son reacciones químicas que consisten en una serie de pasos.

$$1 \xrightarrow{A} 2 \xrightarrow{B} 3 \xrightarrow{C} 4 \xrightarrow{D} 5$$

Figura 3:

  - El producto de una reacción sirve como sustrato para la siguiente.
  - Define una RUTA METABÓLICA.
- El ATP es la unión entre reacciones catabólicas y anabólicas.

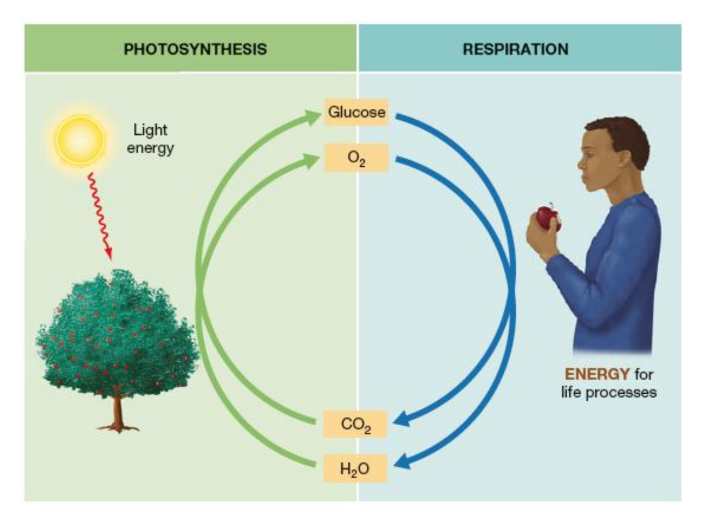


Figura 4:

$$\underset{\text{glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{oxygen}}{6O_2} \rightarrow \underset{\text{carbon dioxide}}{6CO_2} + \underset{\text{water}}{6H_2O} + \text{energy}$$

Figura 5:

$$\underset{\text{carbon dioxide}}{6CO_2} + \underset{\text{water}}{6H_2O} \xrightarrow[\text{chlorophyll}]{\text{light energy}} \underset{\text{glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{oxygen}}{6O_2}$$

Figura 6:

- Cada reacción es catalizada por una enzima específica.

- La transferencia de e- de los intermediarios hacia coenzimas (NAD+) – Reducción.
  - NAD+ son transductores de energía, transportan e- hacia rutas de generación de ATP.
  - En su forma reducida: NADH.
- Cantidades limitadas de enzimas y coenzimas – Tasa de ocurrencia de las vías metabólicas está limitada por la disponibilidad de estos elementos.

Metabolismo Anaeróbico: Glucólisis y Fermentación

- Glucólisis:
  - Metaboliza la glucosa y se realiza en el citoplasma.
  - Convierte glucosa en piruvato y genera poca cantidad de energía.
  - Dividida en dos fases: Inversión de energía (gasto de ATP) y generación de energía (colección de ATP).
  - Usada por Autótrofos y Heterótrofos

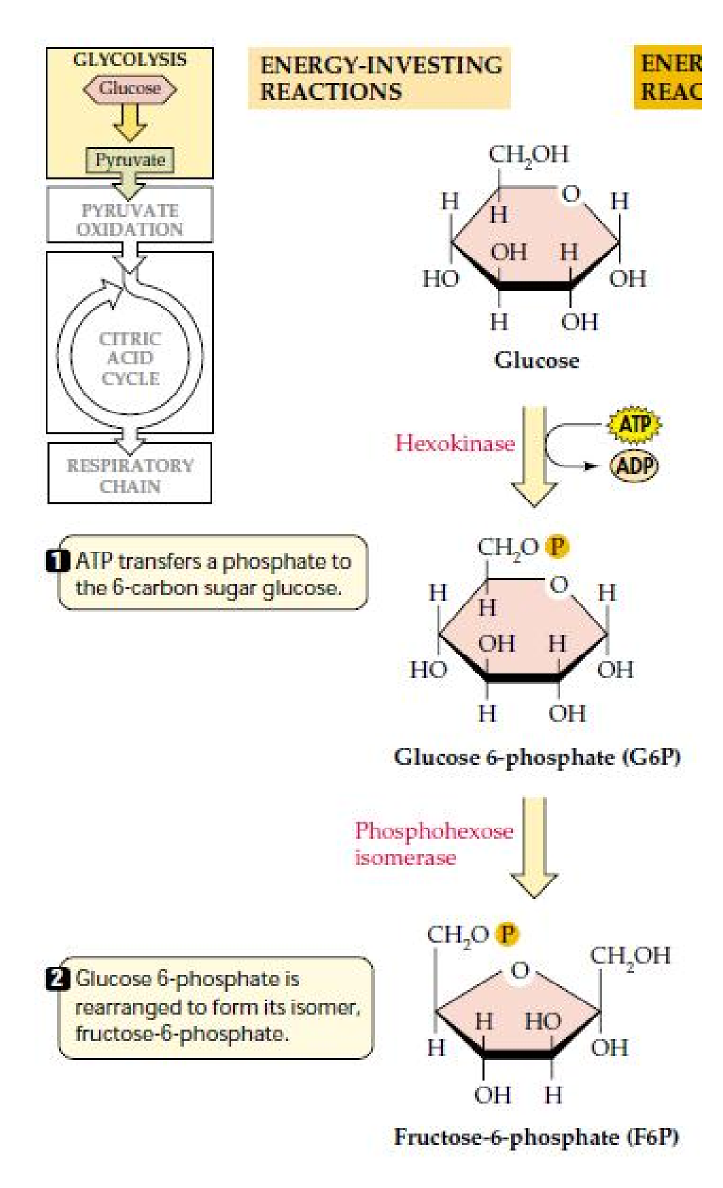


Figura 7:

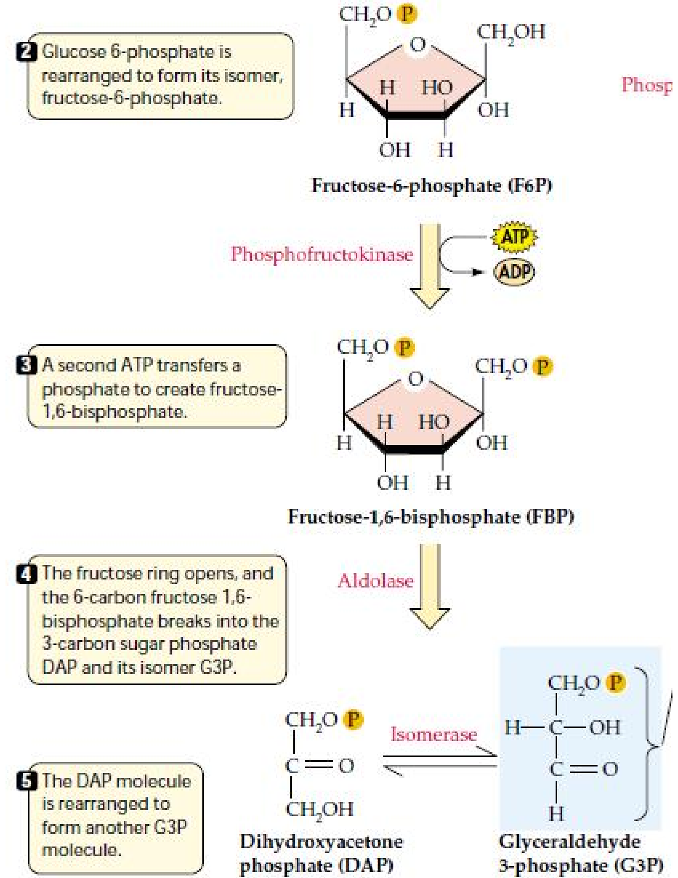


Figura 8:

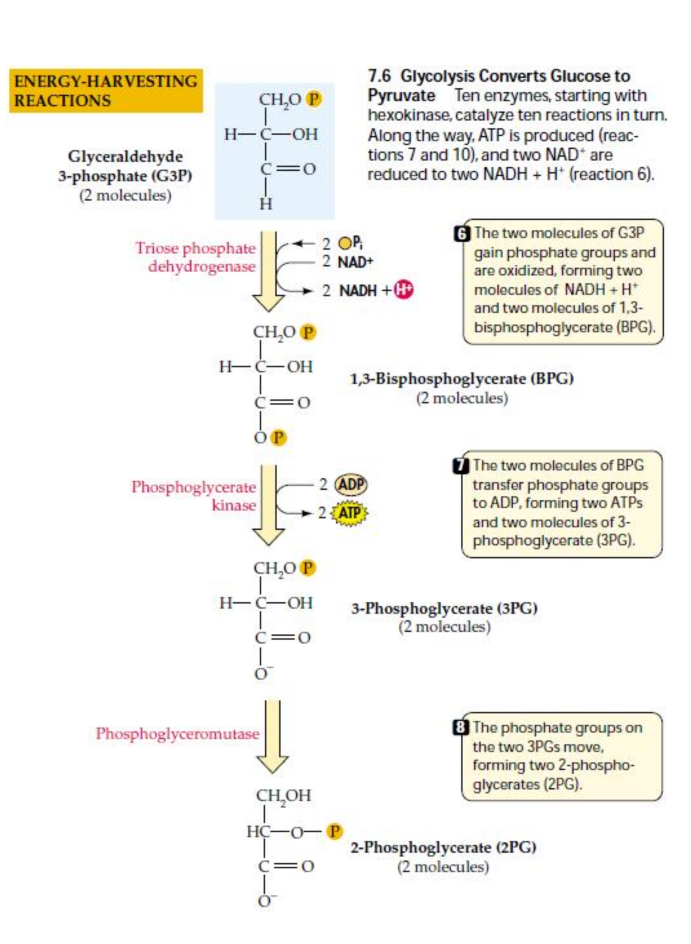


Figura 9:

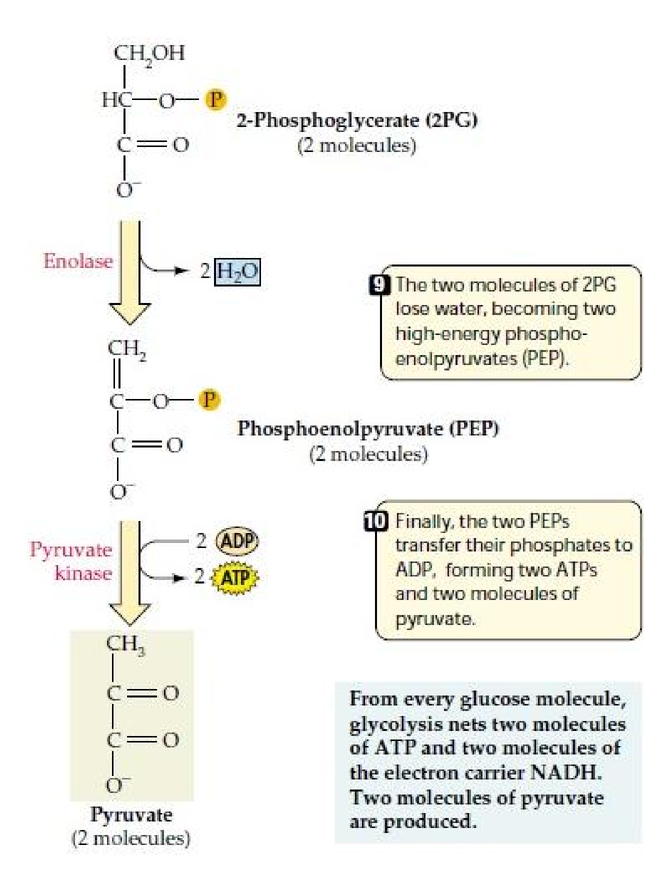


Figura 10:

Alternativas a la Glucólisis:

- Varios MO realizan otras rutas metabólicas para la oxidación de la glucosa
- Eschirichia coli y Bacillus subtilis realizan la Ruta de la Pentosa Fosfato.
    - Rompe glucosa y moléculas de 5C.
    - Tiene 3 roles importantes: provee pentosas intermediarias para la síntesis de ácidos nucleicos, los intermediarios de la ruta son usados para la síntesis de algunos aa., reduce NAD a NADH

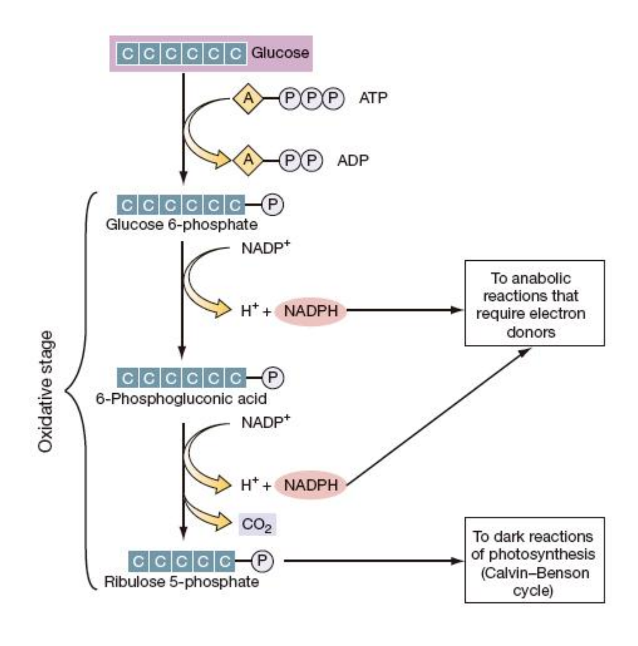


Figura 11:

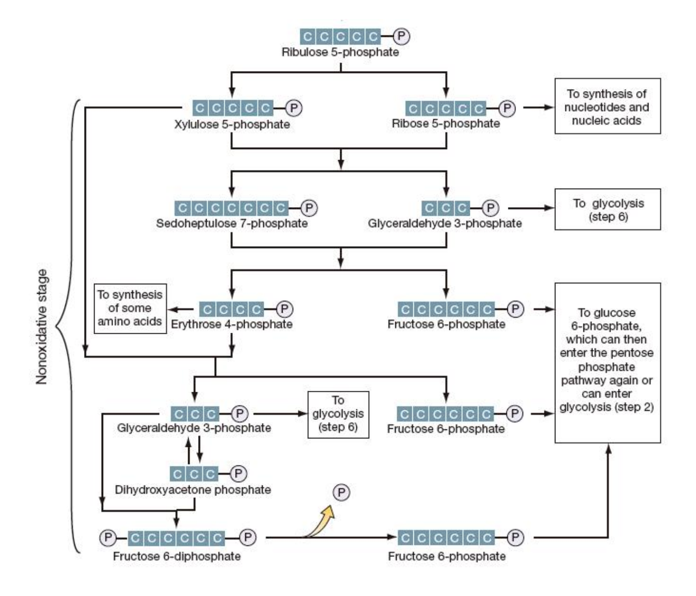


Figura 12:

Fermentación

- Metabolización de piruvato en ausencia de O_2.
- Ocurre en varias rutas metabólicas.
    - Las más importantes son la fermentación del ácido láctico y la fermentación alcohólica.
- Se encargan de remover los e- de los NADH (a NAD) para que continúe como aceptor de e-.
- Estimulan la captura de energía promoviendo la glucolisis.

Fermentación Láctica

- Genera ácido láctico del metabolismo del piruvato.
- No produce gas y se manifiesta en lactobacilos, estreptococos y en los músculos animales.

- Esta ruta es necesaria para elaborar quesos usando lactobacilos

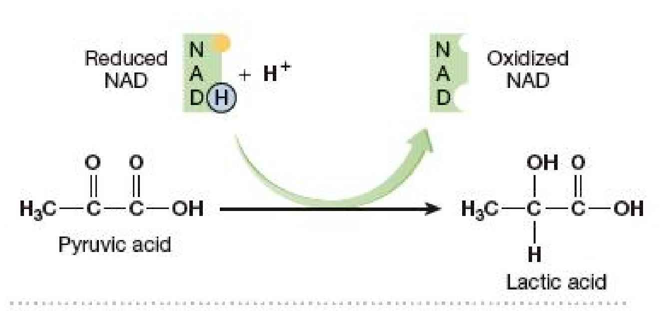


FIGURE 5.13 Homolactic acid fermentation. Pyruvic acid is reduced to lactic acid by the NAD from step 6 of glycolysis (Figure 5.11).

Figura 13:

Fermentación Alcohólica

- Genera CO_2 para formar Acetaldehído.
- Reduce NADH para formar alcohol.
- Es raro en bacterias pero común en levaduras – bebidas alcohólicas y pan.

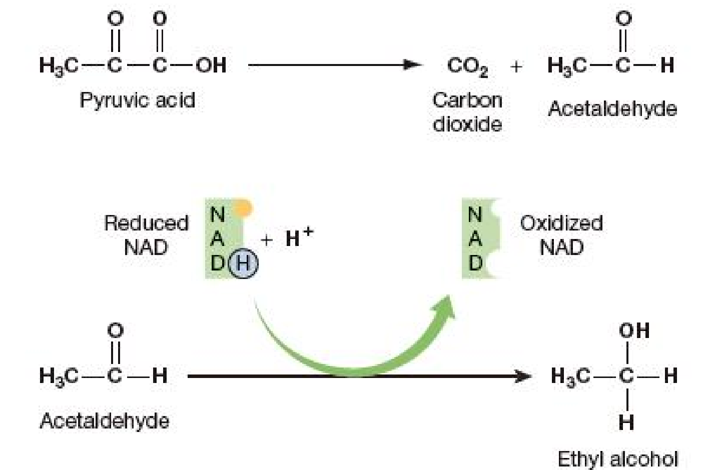


FIGURE 5.14 Alcoholic fermentation. In this two-step process, a molecule of carbon dioxide is first removed from pyruvic acid to form acetaldehyde. Acetaldehyde is then reduced to ethyl alcohol by NAD.

Figura 14:

Otros tipos de Fermentación

- Realizados por organismos patógenos – factor de diagnóstico.
  - Test para Acetoína – intermediario de la fermentación del butanodiol – Klebsiella pneumoniae.
  - Fermentación del ácido butírico/butílico – Clostridium sp. que ocasionan el tétanos y botulismo.
  - Producción del ácido butírico – Clostridium perfringens causa daño tisular por gangrena.
  - Olores a queso o mantequilla rancia.
- Otros tipos de fermentación a partir de azúcares diferentes a la glucosa.
  - Staphylococcus aureus fermenta manitol a diferencia de Staphylococcus epidermidis – cultivos diferenciales con indicadores de pH (rojo fenol).
- Generación de productos industriales.
  - Ácido acético, acetona o glicerol.
  - Compuestos para la industria, alimentos y farmacéutica.



FIGURE 5.15 A positive (yellow) mannitol-fermentation test. This test distinguishes the pathogenic *Staphylococcus aureus* (right) from most nonpathogenic *Staphylococcus* species. *S. aureus* ferments mannitol, producing acid that turns the pH indicator (phenol red) in the medium to yellow. The medium before inoculation (left) is light red. *(©Tsang & Shields/American Society for Microbiology MicrobeLibrary)*

Figura 15:

Metabolismo Aeróbico: Respiración Celular

- Usan la glucólisis como preámbulo para obtener más energía:
  - Organismos aerobios y anaerobios facultativos.
  - Respiración aeróbica: Ciclo de Krebs y Fosforilación Oxidativa.
- Ciclo de Krebs
  - Se transforma al piruvato a acetil CoA para ingresar al ciclo.
  - En procariotas se realiza en el citoplasma, en eucariotas en la matriz mitocondrial.
  - Se rompe la molécula de acetil CoA en dos moléculas de CO_2 para generar electrones que reducirán transportadores de e-.

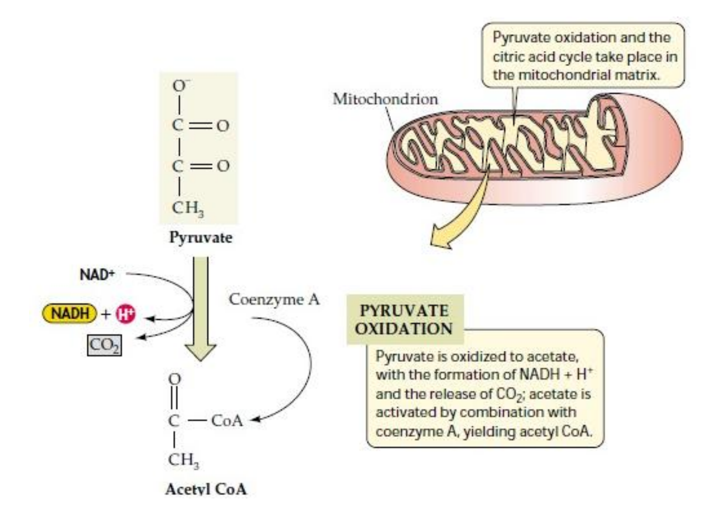


Figura 16:

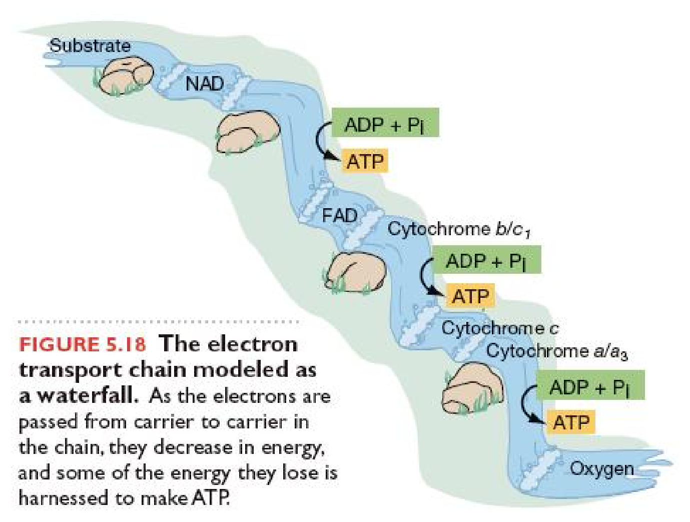


FIGURE 5.18 **The electron transport chain modeled as a waterfall.** As the electrons are passed from carrier to carrier in the chain, they decrease in energy, and some of the energy they lose is harnessed to make ATP.

Figura 18:

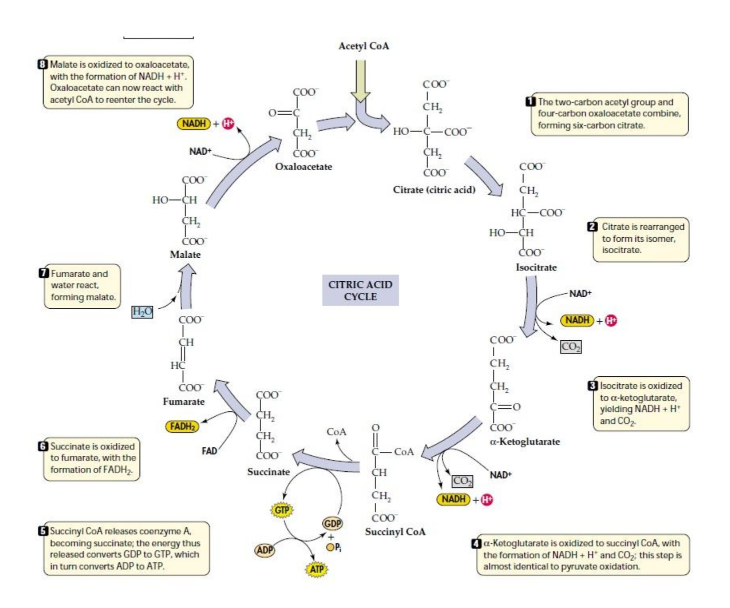


Figura 17:

Transporte de e- y Fosforilación Oxidativa

- Es una ruta de transferencia de e- de un sustrato hasta el O_2.
- Se lo relaciona como una cascada – cada caída refiere una liberación de energía en forma de ATP.
- En procariotas se realiza en la membrana celular, en eucariotas en las crestas mitocondriales.
- Mediante una serie de reacciones redox se realizan dos funciones específicas.
  - El movimiento de e- de un donador a un receptor.
  - Conservación de energía para la síntesis de ATP.
- La transferencia de e- se realiza de un nivel energético mayor a uno menor – formando ATP.
- La energía liberada combina ADP+Pi y forma ATP (FOSFORILACIÓN OXIDATIVA).
- El último aceptor de e- es el O2 y se reduce a H2O.
- La generación de ATP por medio de respiración celular es de 38 ATP/glucosa.
  - 10 pares de NADH – generan 30 ATPs.
  - 2 pares de FADH – generan 4 ATPs
  - 2 ATPs de glucólisis y 2 GTPs = 4 ATPs
- Es más eficiente que la fermentación – hasta un 5 %.
- Fermentación genera 2 ATP como ganancia neta

Quimioósmosis

- La liberación de protones (H+) del ciclo de Krebs y de la fosforilación oxidativa son usados para la síntesis de ATP.
- ATP sintasa (ATPasa) es un complejo proteíco – usa quimioósmosis para generar ATP.
- Localiza protones fuera de la membrana (gradiente de concentración – gradiente electroquímico).
- Se genera una carga + fuera de la membrana – Fuerza Protón Motriz – los H+ ingresan por la ATPasa que genera ATP.

Respiración Anaeróbica

- Algunas bacterias usan partes del ciclo de Krebs y de la cadena de transporte de e-.
- Son anaerobios pero usan moléculas inorgánicas como aceptores de e-.
  - Nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) o sulfatos (SO_4^{2-})
- Estas rutas son usadas para identificación bacteriana
  - Escherichia coli o Helicobacter pylori – dan positivo para test de nitrito.
  - Se reducen nitritos en amonio (NH_3) o nitrógeno gas (N_2).
  - Necesarios en el ciclo del N.

Metabolismo de Otros Compuestos

- Los carbohidratos son la principal fuente de energía para casi todos los microorganismos.
- Sin embargo, para toda sustancia orgánica existe un microorganismo capaz de metabolizarla.

Metabolismo de Lípidos

- Obtención de energía a partir de lípidos:
  - Hidrólisis a glicerol + ácidos grasos.
  - Glicerol digerido por la glucólisis.
  - Ácidos grasos (en cadenas de C pares: 16, 18, 20) se rompen por beta oxidación.
- Beta Oxidación:
  - Unión a una coenzima A.
  - La oxidación del β C (2do C) del grupo carboxilo.
  - Resulta en: acetil CoA y un ácido graso con 2C menos.
  - El proceso de repite y se forman más moléculas de acetil CoA.
  - El acetil CoA puede ser catabolizado en el ciclo de Krebs.

Metabolismo de Proteínas

- Las proteínas pueden ser digeridas para obtener energía.
  - Digestión por enzimas proteolíticas en aminoácidos individuales.
  - Deaminación, decarboxilación o dehidrogenación de los aminoácidos.
  - Moléculas resultantes metabolizadas en glucólisis, fermentación o ciclo de Krebs.

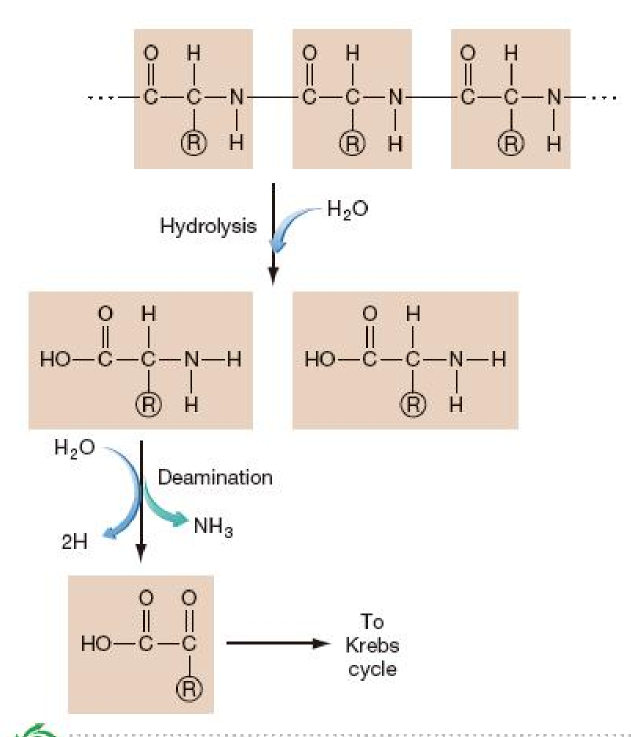


Figura 19:

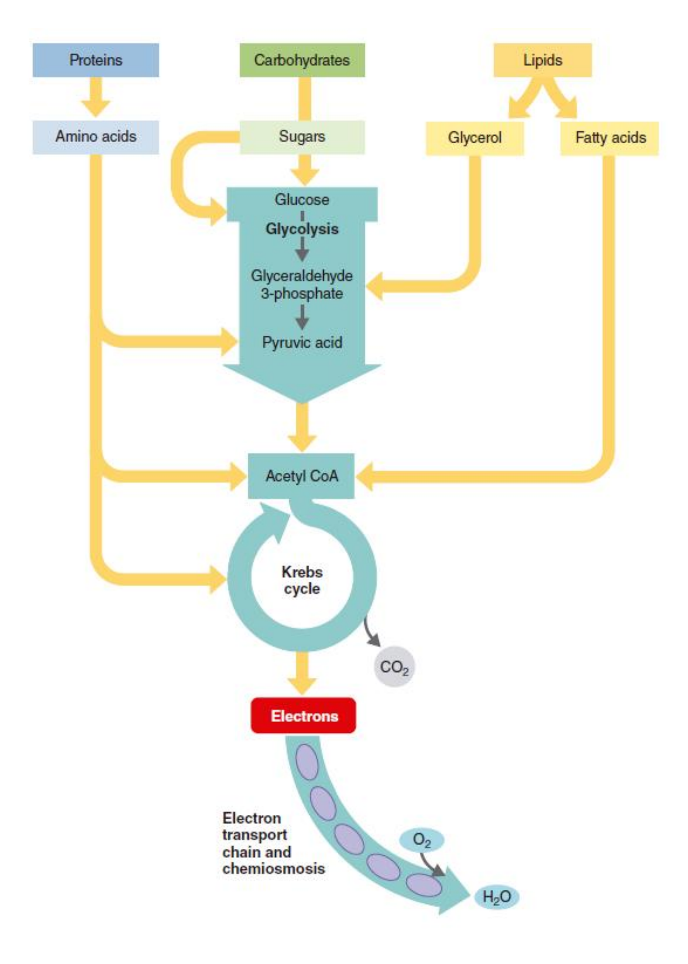


Figura 20:

Otros Procesos Metabólicos

- Obtención de energía en autótrofos:
  - Varios tipos de organismos que obtienen energía de diversos medios.
  - Fotoautótrofos, fotoheterótrofos y quimioautótrofos.
- Fotoautótrofos:
  - Fotosíntesis – captura de luz para generar carbohidratos a partir de CO_2.
  - Algunas bacterias verdes, púrpuras, cianobacterias, algas y plantas.
  - Bacterias fotosintéticas presentan una versión diferente a la de las plantas y algas - Evolución temprana.
- La fotosíntesis se divide en dos:
  - Capturar luz y transformarla en energía química (Reacciones de Luz).
  - Síntesis de carbohidratos a partir CO_2 (Reacciones Oscuras).

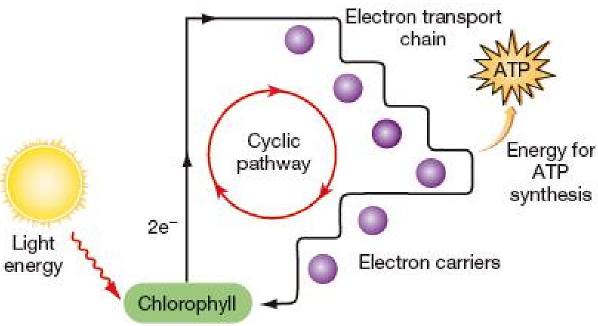


Figura 21:

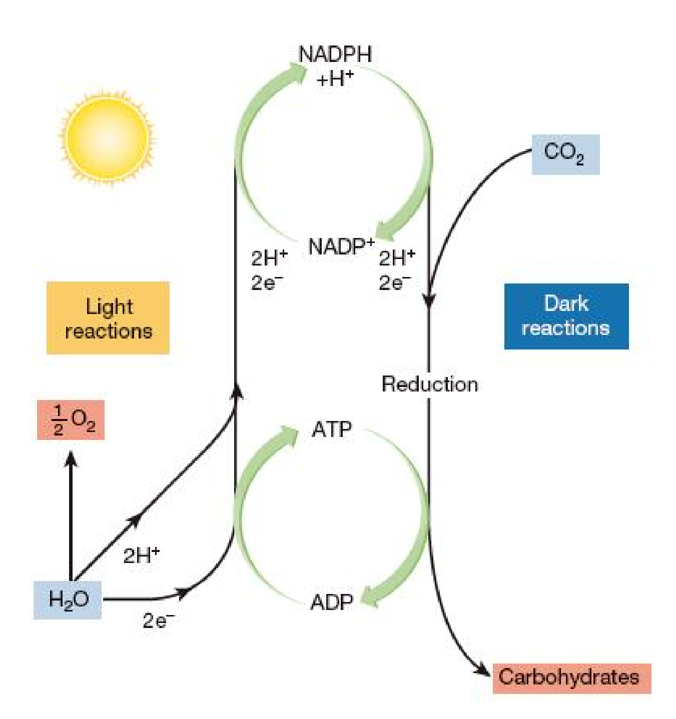


Figura 22:

Las Reacciones de Luz: la luz excita los e- de la clorofila para aumentar su nivel energético para que ingresen en los ciclos de generación de energía por cadena de transporte de e-.

Las Reacciones Oscuras: se encargan de la fijación de C que ocurren en el estroma. El CO_2 es reducido por el ciclo de Calvin Benson, usando ATP y NADH, para generar azúcares, principalmente glucosa.

Fotoheterótrofos:

- Realizan los procesos de fotosíntesis, pero su fuente de C proviene de otros compuestos alcoholes, ácidos grasos o carbohidratos.
- Bacterias verdes, púrpuras y las no sulfurosas.

Quimioautótrofos:

- Oxidan compuestos inorgánicos para obtener energía y generar carbohidratos a partir de CO_2.
- Importantes para la fijación de N o la alcalinidad del suelo (bacterias sulfurosas).

TABLE 5.5 Characteristics of Chemoautotrophic Bacteria

Group and Representative Genus/Genera	Source of Energy	Products After Oxidizing Reaction
Nitrifying bacteria		
Nitrobacter	HNO_2	HNO_3
Nitrosomonas	NH_3	$HNO_2 + H_2O$
Nonphotosynthetic sulfur bacteria		
Thiothrix	H_2S	$H_2O + 2S$
Thiobacillus	S	H_2SO_4
Iron bacteria		
Siderocapsa	Fe^{2+}	$Fe^{31} + OH^-$
Hydrogen bacteria		
Alcaligenes	H_2	H_2O

Figura 23: